

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany

**Destrukční potenciál dronů
ve vazbě na vznik požáru**

Student: Jakub Wrožyna

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ondřej Zavila, Ph.D.

Studijní program: Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnost průmyslu

Termín odevzdání bakalářské práce: 16. 4. 2021

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou destrukčního potenciálu dronů ve vazbě na vznik požárů. V první kapitole je popsána legislativa ve vztahu na kategorie dronů. Druhá kapitola utváří představu o konstrukci dronů. Třetí a čtvrtá kapitola představují výrobce dronů a vybrané drony firmy DJI. Pátá kapitola představuje bezpečnostní prvky k zabránění a snížení následků nárazu či pádů dronů. V šesté kapitole je proveden výpočet maximální síly při dopadu a nárazu dronů a tlaku na plochu. Sedmá kapitola je věnována možné příčině vzniku požáru především se zaměřením na baterii dronu, je zde proveden také praktický test možnosti vznícení baterie dronu. Osmá kapitola je samostatná o prevenci havárií dronu. Devátá kapitola obsahuje doporučení hašení požáru baterie dronu.

Klíčová slova

pád dronu, lithiová baterie, požár baterie dronu, mechanická síla, tlak

Annotation

The bachelor's thesis deals with the issue of destructive potential of drones in relation to the rise of fire. The first chapter describes the legislation in relation to the categories of drones. The second chapter forms the idea of the construction of drones. The third and fourth chapters present drone manufacturers and selected drones from DJI company. The fifth chapter presents safety features to prevent and reduce the consequences of an impact or falling drone. In the sixth chapter, the calculation of the maximum force at the impact and impact of the drone and the pressure on the surface is calculated. The seventh chapter is about the possible cause of fire, especially focusing on the drone battery, there is also a practical test of the possibility of ignition of the drone battery. The eighth chapter deals with the prevention of drone accidents. The ninth chapter describes recommendation to extinguish a drone battery fire.

Keywords

drone fall, lithium battery, drone battery fire, mechanical force, pressure

Obsah

Úvod	1
Rešerše	2
1 Bezpilotní systémy	3
1.1 Legislativa bezpilotních systémů	3
1.2 Kategorie provozu	4
1.3 Rozdělení bezpilotních systémů do tříd	5
2 Drony	5
2.1 Konstrukční provedení dronu	5
2.2 Součásti dronu	8
2.3 Lithium polymerové baterie	9
3 Výrobci dronů	10
3.1 DJI	10
3.2 Parrot	11
3.3 Yuneec	12
3.4 3D Robotics	12
4 Vybrané druhy dronů DJI	13
4.1 DJI Mavic mini 2	13
4.2 DJI Mavic 2	14
4.3 DJI Phantom 4 PRO	15
4.4 DJI Inspire 2	16
4.5 DJI Matrice 600 PRO	17
5 Bezpečnostní prvky dronů	18
5.1 Failsafe systém	18
6 Destrukční potenciál dronu při nárazu	20
6.1 Síla a tlak při dopadu a nárazu	20
7 Příčiny vzniku požáru způsobené dronem	24

7.1	Požár baterie	24
7.2	Test baterií dronů DJI	25
8	Statistika havárií.....	28
9	Doporučení prevence havárií a požáru dronů	29
10	Doporučení k likvidaci požáru baterie dronu	31
	Závěr.....	32
	Literatura	33
	Seznam obrázků	37
	Seznam tabulek	38

Úvod

Drony neboli bezpilotní letouny patří v dnešní době k velmi rozšířeným a oblíbeným zařízením. Tyto stroje se využívají v různých odvětvích, ať už v profesionálních použitích, vojenských, tak i amatérských. V této práci se budu zabývat bezpilotními systémy typu „dron“. Díky jejich relativně dobré dostupnosti jsou hojně rozšířené mezi běžnými lidmi, a to především díky schopnosti pořizování fotografií a videozáznamů.

Na trhu si můžeme vybrat z nespočtu dronů, a to už od těch nejmenších, například DJI Mavic mini 2, který váží pouhých 249 gramů, nebo po ty největší se vzletovou hmotností 15 kilogramů. Tato rozšířenost dronů s sebou ale nese také nebezpečí vyplývající z jejich provozu. V této bakalářské práci se budu věnovat „destrukčnímu potenciálu dronů ve vazbě na vznik požáru“.

Pro účely této práce budu zkoumat možné vlivy na vznik požáru způsobené drony, a to z mého pohledu nejrozšířenějšími drony firmy DJI. Vybral jsem zde 5 dronů tak, abych pokryl všechny třídy bezpilotních letounů. Budu zde zkoumat sílu nárazu dronů, a to v rámci scénářů, kdy dojde k poruše dronu nebo chybě pilota dronu. Zaměřím se tedy na volný pád dronu, kdy se dron vznáší na místě a vlivem poruchy padá k zemi a dále nárazem dronu do překážky před sebou za letu.

Budou zde interpretovány síly těchto nárazů. V rámci havárie dronu se zaměřím především na možná poškození baterií dronů. Z mého pohledu je nejnebezpečnější částí dronu jeho baterie, u které může vlivem nárazu nebo pádu dojít k mechanickému poškození a následnému výbuchu a požáru který může iniciovat požár ve své bezprostřední blízkosti. Dalším možným rizikem, které zde spatřuji, je také náraz, pád dronu v případě letu nad průmyslovými oblastmi, kde by pád nebo případný náraz dronu mohl způsobit poškození technologie a tím způsobit její nebezpečný stav.

Rešerše

Cílem rešerše je provést průzkum různých informačních zdrojů zaměřených na destrukční potenciál dronů ve vazbě na vznik požáru.

Průzkumem informačních zdrojů bylo zjištěno, že k danému tématu - destrukční potenciál dronu ve vazbě na vznik požáru, nebylo nic nalezeno, a to jak v českých, tak v zahraničních zdrojích, převážně tedy v anglickém jazyce. Proto byl cíl rešerše upraven a byly dále hledány zdroje týkající se parametrů dronů, bezpečnostních prvků dronů, legislativy.

Dále jsem se zaměřil na vyhledávání zdrojů týkajících se baterií a jejich možného způsobení požáru jako jeden z možných způsobů iniciace požáru dronem při jeho pádu. Takto bylo nalezeno velké množství především internetových zdrojů, a to především článků. V tištěné podobě byly nalezeny dvě knihy zabývající se drony, publikací zaměřených na drony je velké množství, ale v principu se informace v nich opakují.

Byly tedy vybrány pro potřeby této bakalářské práce následující zdroje. Kniha [1], [2] popisují využití dronu, létání s drony, jejich konstrukci, ale také předpisy týkající se provozu dronu, natáčení a focení s dronem. Internetový zdroj [3], [4], [5], [6], [7], [8] obsahuje důležitá data o technických parametrech mnou vybraných dronů firmy DJI, které využívám k výpočtům maximální síly při dopadu a nárazu dronu, a maximálního tlaku působícího na místo dopadu nebo nárazu. V [9] se zabývám závažností problémů a jejich příčin v rámci užívání lithiových baterií. Nalezneme zde informace o rizicích baterií, ale také statistické údaje HZS ČR požárů ve spojitosti s elektronickými články. Jsou zde příklady požárů způsobených bateriemi s jejich popisem. Zdroj [10] dává informace o fungování lithiových baterií a jejich složení. Zdroj [11] je průvodce stavbou dronu. Nalezneme zde popis všech důležitých částí dronu a postupy k jeho stavbě. Zdroj [12], [13], [14] jsou oficiální stránky Úřadu pro civilní letectví ČR se zaměřením na bezpilotní systémy. Jsou zde popsány pojmy, předpisy týkající se provozu bezpilotních systémů. Nařízení EU [15], [16] kterými jsou přesně specifikována pravidla pro provoz bezpilotních systémů, a také povinnosti provozovatelů systémů ze třetích zemí. Pro práci byly důležité především zdroje [1], [2], [9], [10], [15], [16], které daly ucelený přehled o tom, z čeho se dron skládá, fungování lithiových baterií a také o legislativě upravující provoz bezpilotních letounů. Zbylé zdroje byly doplňky k ucelení informací. Při hledání jsem nenarazil na žádné publikace, věnující se dronům z pohledu nebezpečí vzniku požáru. Zdroje na toto téma destrukčního potenciálu dronu ve vazbě na vznik požáru nebyly nalezeny.

1 Bezpilotní systémy

Platná legislativa pro své účely využívá definici „bezpilotní systém“. V rámci této definice se rozumí: „bezpilotní systém“ - bezpilotní letadlo a vybavení pro jeho řízení na dálku. Označení dron je spíše slangové a v odborných kruzích zřídka využíváné [2], [15].

Bezpilotní systém

„Je systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více [12].“

Bezpilotní letadlo

„Je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě (může se jednat, a většinou se jedná, o součást bezpilotního systému). V kontextu legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kilogramů [12].“

1.1 Legislativa bezpilotních systémů

Legislativa rozdělující a určující pravidla provozu bezpilotních letadel, systémů, jsou v rámci nařízení EU:

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139 Prováděcí nařízení Komise (EU) 2019/947
změna – Prováděcí nařízení Komise (EU) 2020/639
změna – Prováděcí nařízení Komise (EU) 2020/746
- Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945
změna – Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2020/1058
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 785/2004

V rámci České republiky se jedná především o:

- Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů. Vyhláška MDS č. 108/1997 Sb., kterou se provádí zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví, a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb. o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- Doplněk X – Bezpilotní systémy, předpis L 2 – Pravidla létání [14].

1.2 Kategorie provozu

Kategorie provozu dronů specifikované dle prováděcího nařízení Komise (EU) 2019/947 o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel [15].

1. Otevřená kategorie

„Nevyžaduje žádné předchozí oprávnění k provozu ani prohlášení o provozu učiněné provozovatelem bezpilotních systémů před uskutečněním provozu [15].“

2. Specifická kategorie

„Vyžaduje oprávnění k provozu vydané příslušným úřadem podle článku 12 nebo oprávnění obdržené podle článku 16 nebo, za okolností definovaných v čl. 5, odst. 5, prohlášení provozovatele bezpilotních systémů [15].“

3. Certifikovaná kategorie

„Vyžaduje osvědčení bezpilotního systému podle nařízení v přenesené pravomoci (EU) 2019/945, osvědčení provozovatele, a případně udělení průkazu způsobilosti dálkově řídicímu pilotovi [15].“

1.3 Rozdělení bezpilotních systémů do tříd

Rozdělení bezpilotních systémů do tříd dle prováděcího nařízení Komise (EU) 2019/945 [16].

Tabulka 1 Třídy bezpilotních systémů [16]

	C0	C1	C2	C3	C4
Maximální vzletová hmotnost	<250 g	<900 g	<4 kg	<25 kg a má maximální charakteristický rozměr menší než 3 m	<25 kg
Maximální rychlost	19 m/s	19 m/s	neurčena	neurčena	neurčena
Maximální dosažitelná výška nad terénem	120 m	120 metrů nebo hodnota, kterou může zvolit pilot	120 metrů nebo hodnota, kterou může zvolit pilot	120 metrů nebo hodnota, kterou může zvolit pilot	neurčena
Maximální napětí	24 V	24 V	48 V	48 V	neurčena

2 Drony

Pro účely této bakalářské práce se budu zabývat tedy bezpilotními systémy typu „DRON“. V této kapitole si popíšeme technické parametry dronů.

2.1 Konstrukční provedení dronu

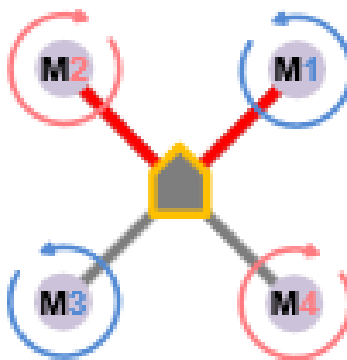
Konstrukční provedení dronů lze rozdělit podle počtu ramen s motory. Mezi nejběžnější patří tzv. multikoptéry o počtu ramen 4, 6 a 8.

Kvadrokopty

Kvadrokopty lze vidat ve dvou konstrukčních provedeních, a to ve tvaru X a H.

Tvar X: Nejběžněji se vyskytují konstrukce typu X. Toto využití je výhodné především v rámci úspory hmotnosti - jednoduchá konstrukce. Nevýhoda jsou dlouhá ramena, která jsou tímto zranitelná.

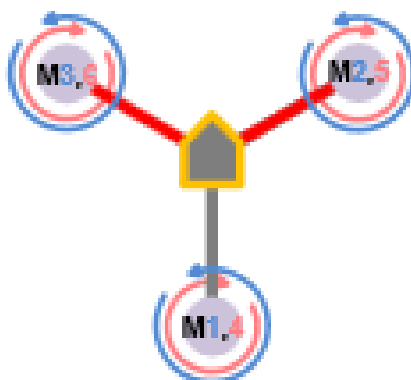
Tvar H: Uspořádání do písmene H skrývá tedy výhody podstatně kratších ramen a tedy pevnější konstrukce [11].



Obrázek 1 Kvadrokopty tvaru X [11]

Trikoptéra

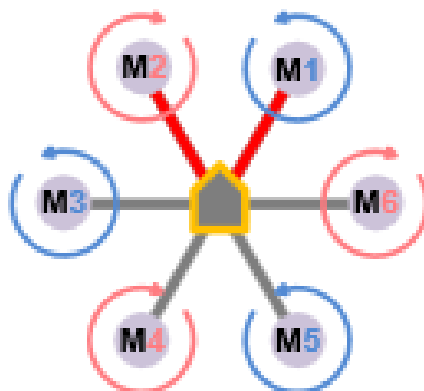
Jedná se o třímotorovou konstrukci, kde ramena svírají vůči sobě 120 stupňů [11].



Obrázek 2 Trikoptéra [11]

Hexakoptéra

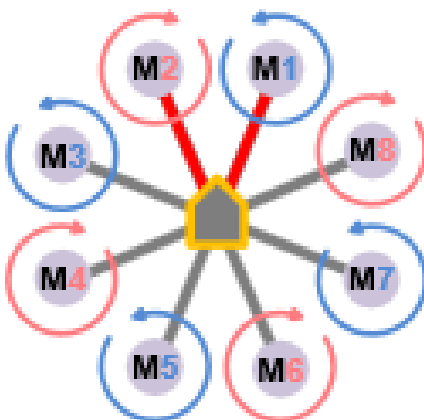
Jedná se o šestimotorovou konstrukci [11].



Obrázek 3 Hexakoptéra [11]

Oktokoptéra

Jedná se o osmimotorovou konstrukci, tato konstrukce poskytuje velkou sílu v tahu [11].



Obrázek 4 Oktokoptéra [11]

2.2 Součásti dronu

Materiály

Materiály využívané k stavbě dronů jsou různé, jako např.: plast, překližka, karbon, laminát. Nejběžněji se v prostředí setkáváme s materiálem plastů. Materiál karbonu se používá spíše u větších a dražších dronů [1], [2], [11].

Motory

Důležitou součástí jsou motory dronu. Počet motorů závisí především na konstrukci celkového dronu, mohou být tedy nejméně 3 ale klidně až 8. Do modelu dronů se využívají buď stejnosměrné, anebo střídavé motory. Motory se rozlišují podle parametru počtu otáček za minutu na jeden volt. Charakteristikami při výběru motoru jsou tedy především počet otáček za minutu, krouticí moment, počet pólů a směr otáčení [1], [2], [11].

Vrtule

Zde je podstatný rozdíl ve velikosti vrtulí, kterými je dron osazen. Velikost vrtule nám udává schopnost dronu, možnost rychlého manévrování či naopak stabilního, ale pomalejšího letu. Vrtule jsou na dronu přímo spojeny s motory bez žádných převodů. Dalším parametrem vrtule je její směr otáčení, tedy jestli se jedná o pravotočivé CW nebo levotočivé CCW [1], [2], [11].

Elektronika dronů

Elektronika dronu je srdcem celého stroje. Základními, a také nezbytnými součástmi každého dronu, je regulátor otáček, rozvodová deska, řídicí jednotka a přijímač. Mezi další výbavu dronu můžou patřit různé přístroje, jako jsou kamery, senzory a spousta různého příslušenství pro specifické využití dronu [1], [2], [11].

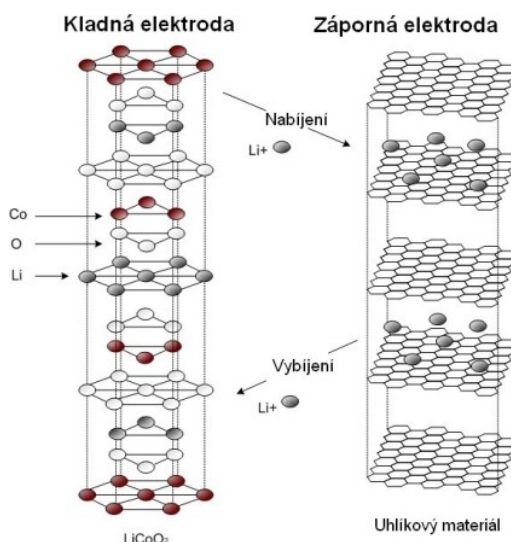
Akumulátor

Nedílná součást všech dronů je zdroj napájení. Ve většině všech dronů se používají baterie typu Li-Po (Lithium polymer), je to především z důvodu jejich nízké hmotnosti a vlastnosti dodání velkého množství energie. Mohou se objevit i jiné typy baterií, ale pouze výjimečně. Pro potřeby této bakalářské práce považuji baterie v dronech za hlavní příčiny možného

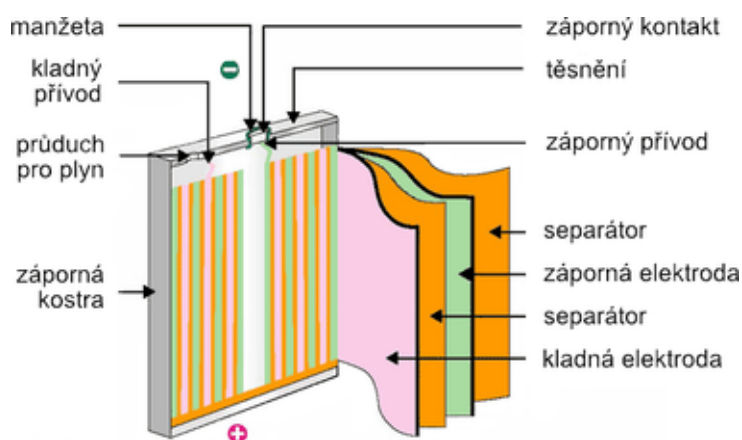
vznícení dronu v důsledku jejich neřízeného pádu. Proto zde více bude rozvedena část baterie v následující podkapitole [1], [2], [11].

2.3 Lithium polymerové baterie

Lithium polymerové baterie (Li-Po) jsou vyráběny ze sloučenin lithia. Baterii tedy tvoří kladně nabitá elektroda (katoda), která může být tvořena sloučeninou lithium-kobalt, tj. oxid LiCoO_2 , lithium-mangan oxid LiMn_2O_4 , lithium-nikl oxid LiNiO_2 , lithium-vanad oxid LiV_2O_5 . Zápornou elektrodu (anodu) tvoří sloučeniny grafitu. Napětí v člancích baterie je nejběžněji 3 a 6 V [10].



Obrázek 5 Princip funkce lithiových akumulátorů [10]



Obrázek 6 Struktura lithiového akumulátoru [10]



Obrázek 7 Baterie DJI Inspire 2 [autor]

Většina baterií typu Li-Po, určených pro drony, je vyráběna v pevném plastovém pouzdře, které chrání baterii před poškozením.

3 Výrobci dronů

V současné chvíli jsou na trhu stovky výrobců dronů. Mezi nejznámější výrobce patří v současnosti drony značky DJI (Da-Jiang Innovations) [8], Parrot [25], Yuneec [26] a 3D Robotics [27].

3.1 DJI

Jedná se o čínskou technologickou firmu, s hlavním sídlem v Shenzhen, založenou v roce 2006. Firma vyrábí drony pro široké uplatnění, a to jak pro běžného uživatele, tak k profesionálnímu využití v oblasti filmařství, tak i v průmyslu. Další částí produkce této firmy jsou zařízení k natáčení, jako jsou například stabilizátory fotoaparátů, gimbaly. V neposlední řadě vyvíjí také vlastní software pro 3D mapování v reálném čase DJI Terra [8], [28].



Obrázek 8 DJI Matrice 300 RTK [8]

3.2 Parrot

Francouzská firma Parrot je nejstarší firmou zabývající se drony, založena v roce 1994. Firma se zabývá výrobou dronů jak pro běžné užití, tak drony pro využití v průmyslu, ale i obranu a bezpečnost. Vyrábí také drony na vojenské úrovni pro armádu USA, Švýcarska. Tyto drony se také hojně využívají v USA k podpoře záchranných složek [25].



Obrázek 9 Parrot Anafi USA [25]

3.3 Yuneec

Firma založena 1999 v čínském Hongkongu. Výrobce technologií jak pro letadla, tak na výrobu dronů. Vyrábí drony pro běžné užití a také drony komerční. Firma se zaměřuje na drony pro inspekci v průmyslu, záchranu a vyhledávání, bezpečnostní služby a filmaře.



Obrázek 10 Yuneec H520E/520 [26]

3.4 3D Robotics

Firma založena 2007 v USA. Tato firma v dnešní době spolupracuje s firmou Yuneec. Vyrábí drony pro profesionální využití.



Obrázek 11 3DR H520-G [27]

4 Vybrané druhy dronů DJI

Vzhledem k velké oblibě dronů DJI v České republice jsem se rozhodl popsat a dále pracovat s parametry pěti dronů firmy DJI tak, aby pokryly všechny třídy bezpilotních letounů. Jsou zde uvedeny technické údaje dronů, v závislosti na potřebu další části této práce, jako jsou rozměry, váha a rychlost dronu.

4.1 DJI Mavic mini 2

Jedná se o malý výkonný dron. Se svojí váhou 249 gramů spadá do kategorie CO. Dron nedisponuje senzory pro hlídání nárazu do překážky. Je vybaven „failsafe systémem“ pro návrat do místa vzletu. Jedná se o oblíbený a rozšířený dron [6].

Tabulka 2 Parametry DJI Mavic mini 2 [8]

	Mini 2
Vzletová hmotnost	249 g
Max. vzletová výška	4000 m
Letový čas	31 min
Kapacita baterie	2250 mAh
Typ baterie	LiPo 2S
Rozměry (V x Š x D)	56 x 289 x 245 mm



Obrázek 12 DJI Mavic mini 2 [6]

4.2 DJI Mavic 2

Dron kategorie C1. Jedná se již o profesionálnější a větší dron. Tento model již disponuje ochrannými prvky, jako je „failsafe systém“, tak všesměrovými senzory k detekci překážek [5].

Tabulka 3 Parametry DJI Mavic 2 [8]

	Mavic 2
Vzletová hmotnost	907 g
Max. vzletová výška	6000 m
Letový čas	31 min
Kapacita baterie	3850 mAh
Typ baterie	Li-Po 4S
Rozměry (V x Š x D)	84 x 242 x 322 mm



Obrázek 13 DJI Mavic 2 [5]

4.3 DJI Phantom 4 PRO

Dron kategorie C2. Svými rozměry i vahou se jedná již o těžší dron. Tento dron je převážně používán profesionály. Disponuje velice přesným systémem pro určování polohy a tím výbornou funkčností „failsafe systému“. Je vybaven dvěma ultrazvukovými senzory, mířícími zespodu, a dvěma dopředu, které hlídají případné překážky [7].

	Phantom 4 PRO
Vzletová hmotnost	1375 g
Max. vzletová výška	6000 m
Letový čas	30 min
Kapacita baterie	5870 mAh
Typ baterie	Li-Po 4S
Rozměry (V x Š x D)	196 x 290 x 290 mm



Obrázek 14 DJI Phantom 4 PRO [7]

4.4 DJI Inspire 2

Dron kategorie C3. Jedná se o jeden z prvních filmařských dronů. Dron se vyznačuje svojí velikostí a převážně rychlostí až 108 km/h. Dron je vybaven senzory pro detekci překážek před sebou, nad sebou i pod sebou. Umí se také vyhýbat samostatně překážkám [3].

Tabulka 4 Parametry DJI Phantom 4 PRO [8]

	Inspire 2
Vzletová hmotnost	4250 g
Max. vzletová výška	5000 m
Letový čas	30 min
Kapacita baterie	4280 mAh
Typ baterie	Li-Po 6S
Rozměry (V x Š x D)	317 x 427 x 425 mm



Obrázek 15 DJI Inspire 2 [3]

4.5 DJI Matrice 600 PRO

Dron kategorie C4. Jedná se o výkonný a rozměrově velký dron. Jeho využití je především v profesionálním sektoru. Je vybaven systémem pro přesné určení polohy. Dron disponuje šesti bateriemi [4].

	Matrice 600 PRO
Vzletová hmotnost	15 500 g
Max. vzletová výška	5000 m
Letový čas	38 min
Kapacita baterie	4500 mAh
Typ baterie	Li-Po 6S
Rozměry (V x Š x D)	727 x 1518 x 1668 mm



Obrázek 16 DJI Matrice 600 PRO [4]

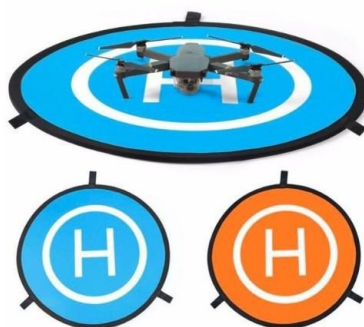
5 Bezpečnostní prvky dronů

Bezpečnostní prvky dronu jsou důležitým prvkem jejich výbavy. Většina dronů, především firmy DJI, je vybavena různými prvky bezpečnosti. Mezi tyto prvky patří především senzory umístěné přímo na dronech, hlídající vzdálenost od překážek, čímž mají zabránit havárii dronu. Tyto senzory hlídají především prostor před dronem, ale u vyšších verzí i za dronem nebo pod ním. Jedním se základních prvků bezpečnosti je ale dohled nad dronem. V ČR je zákonem daná povinnost létat pouze ve vzdálenosti od pilota tak, aby byl stále s dronem vizuální kontakt [8], [19].

5.1 Failsafe systém

Tento systém je výbavou většiny dronů na trhu, u značky DJI u všech dronů. Tento systém zajišťuje správné chování dronu v případě ztráty signálu s ovladačem. Systém může fungovat v několika rovinách dle daného druhu dronu [24].

1. Při ztrátě dronu zůstane dron pouze „viset“ ve vzduchu na místě, kde došlo ke ztrátě signálu. V tu chvíli může pilot po obnově signálu dále řídit dron.
2. Při ztrátě signálu začne dron v daném místě automaticky klesat a přistane. Zde opět při obnově signálu pilotem lze tento úkon zrušit a pokračovat v letu
3. Při ztrátě signálu dron chvíli vyčká, a pokud nedojde k obnově signálu, pak pomocí vestavěné GPS a případně kamery se vrátí zpět na místo vzletu a pokusí se přistát. Tento systém funguje jak pomocí GPS souřadnic, tak snímky místa vzletu, které si dron pořídí. Proto je u tohoto systému dobré užívat barevně výrazné přistávací plochy.



Obrázek 17 Přistávací plocha pro dron [21]

Padáky pro drony

Jedná se o speciálně navržené systémy pro bezpilotní systémy, které se v případě nekontrolovaného pádu samy automaticky otevřou, a sníží tak dopadovou rychlost dronu. V současné době se vyrábějí padáky pro drony větších hmotností od 3 kg až po 35 kg. Minimální záchranná výška je od 5 m nad zemí a rychlosti dronu do 80 km/h. Doba otevření padáku je srovnatelná s automobilovými airbagy, a to do jedné sekundy.



Obrázek 18 Padák dronu [29]

V současné době se začaly vyrábět také tyto systémy na menší drony, jako je například DJI Mavic 2. Celý systém padáků pro drony funguje tak, že padák má svůj vlastní gyroskop a barometr a průběžně analyzuje jeho data. V případě, že systém rozpozná podmínky odpovídající pádu, otevře padák. Pro vyhodnocení pádu se používá algoritmus získaný z velkého množství nasbíraných dat [30] .

6 Destrukční potenciál dronu při nárazu

Pro účely této bakalářské práce budou prezentovány dva scénáře nárazu dronu na pevnou překážku. Bude se jednat o volný pád dronu a náraz do překážky při své maximální rychlosti.

Volný pád dronu, kdy se dron vznáší na jednom místě a udržuje konstantní výšku, může nastat z neočekávané chyby stroje, případně nárazu, např. ptáka do dronu, a tím k jeho nekontrolovanému pádu na zem. Náraz do překážky, kdy chybou pilota nebo chyby stroje dochází při určité rychlosti k nárazu do pevné překážky před strojem.

6.1 Síla a tlak při dopadu a nárazu

Pro výpočet síly dopadu a nárazu dronů budou použity drony prezentované v kapitole 2. Základními výpočtovými vztahy pro sílu a tlak dopadu a nárazu dronu bude použito:

Maximální síla nárazu při volném pádu:

$$F_y = \frac{m \cdot v_y}{t_y} \quad (6.1)$$

Kde F_y je maximální síla dopadu [N]

m je maximální vzletová hmotnost [kg]

v_y je maximální rychlost při volném pádu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

t_y je doba svislé deformace [s]

Maximální síla nárazu při horizontálním letu:

$$F_x = \frac{m \cdot v_x}{t_x} \quad (6.2)$$

Kde F_x je maximální síla nárazu [N]

m je maximální vzletová hmotnost [kg]

v_x je maximální rychlost dronu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

t_x je doba vodorovné deformace [s]

Tlak v místě horizontálního nárazu:

$$p_x = \frac{F_x}{S_x} \quad (6.3)$$

Kde p_x je tlak na plochu nárazu [MPa]

S_x je plocha čelního profilu dronu [m²]

F_x je maximální síla nárazu při horizontálním letu [N]

Tlak v místě nárazu při volném pádu:

$$p_y = \frac{F_y}{S_y} \quad (6.4)$$

Kde p_y je tlak na plochu nárazu [MPa]

S_y je plocha čelního profilu dronu [m²]

F_y je maximální síla nárazu při horizontálním letu [N]

Tabulka 5 Rozměry dronů DJI [8]

	Výška [m]	Šířka [m]	Délka [m]
DJI mini 2	0,056	0,289	0,245
DJI mavic 2	0,084	0,242	0,322
DJI phantom 4	0,196	0,290	0,290
DJI inspire 2	0,317	0,427	0,425
DJI matrice 600 pro	0,727	1,518	1,668

Tabulka 6 Maximální síla dopadu a nárazu dronu [autor]

	m [kg]	v_x [m.s ⁻¹]	t_y [s]	t_x [s]	F_y [N]	F_x [N]
DJI mini 2	0,249	16	0,0013	0,0153	8702	260
DJI mavic 2	0,907	20	0,0019	0,0161	21133	1127
DJI phantom 4	1,375	20	0,0044	0,0145	13730	1897
DJI inspire 2	4,250	26,1	0,0072	0,0163	26240	6812
DJI matrice 600 pro	15,500	18	0,0164	0,0927	41728	3011

Tabulka 7 Maximální tlak v místě nárazu [autor]

	S_y [m ²]	S_x [m ²]	p_y [MPa]	p_x [MPa]
DJI mini 2	0,014	0,0162	0,634	0,016
DJI mavic 2	0,027	0,0203	0,781	0,055
DJI phantom 4	0,057	0,0568	0,242	0,033
DJI inspire 2	0,135	0,1354	0,195	0,050
DJI matrice 600 pro	1,213	1,1036	0,034	0,003

Pro výpočet maximální síly nárazu a dopadu byly použity vzorce (6.1), (6.2). Časy vodorovné a svislé deformace byly určeny jako podíl délky dronu a maximální rychlosti v případě času vodorovné deformace. U času deformace svislé jde o podíl výšky dronu a maximální rychlosti při volném pádu.

Výpočet tlakové síly v místě nárazu byl proveden pomocí vzorců (6.3) a (6.4). Plocha S_x byla vypočtena z výšky a šířky dronu. Plocha S_y byla vypočtena z výšky a délky dronu.

Jako referenční výšku, ze které bude dron v případě volného pádu padat, byla na základě legislativy ČR zvolena maximální letová výška 100 metrů nad zemským povrchem.

Výše uvedené výsledky mechanických sil při pádu dronů nám ukazují maximální síly a tlaky, kterými působí dron při svém nárazu. Tyto hodnoty jsou závislé na hmotnosti, rozměrech a také rychlosti dronu. Pro získání ještě přesnějších hodnot mechanických sil by bylo potřeba provedení přesnějších praktických experimentů, a to převážně z důvodu různého tvaru vybraných dronů a závislosti na jejich deformaci při nárazu. Z výsledků lze říci, že nejnebezpečnějším způsobem nárazu dronu je jeho volný pád. Při tomto pádu působí drony nejvyšší silou dopadu i tlaku v místě dopadu. Pro představu, ke vzniku fraktury lebky člověka stačí síla mechanického úderu 4000 N - Pád takového dronu na člověka může mít tedy smrtelný účinek. Co se týče potenciálu dronů, lze předpokládat, že snadno prorazí různé materiály o tenčí tloušťce. Tím ale způsobit možná poškození například technologií, která mohou způsobit požár [31].

7 Příčiny vzniku požáru způsobené dronem

V této kapitole se budu zabývat možnými příčinami vzniku požáru způsobené drony. Za způsoby možného vzniku požáru budu uvažovat vzplanutí či případný výbuch baterie dronu a případně následné příčiny vzniku požáru následkem nárazu dronu.

7.1 Požár baterie

Požár baterie dronu může nastat nesprávným nabíjením nebo v našem případě mechanickým poškozením, například v případě pádu nebo nárazu dronu. V případě nárazu dojde k poškození ochranného obalu baterie a mechanickému poškození. Princip, při kterém dochází ke vznícení baterie, spočívá v deformaci vnitřních článků baterie, tedy k přímému styku katody a anody uvnitř baterie a následnému zkratu a případné destrukci či požáru [9].

Při takto vzniklém požáru baterie dronu může dojít jeho přenosu na místo dopadu. Zde bude velmi záležet na místě dopadu, o riziková místa může jít například:

- Lesy, pole, louky
- Prostory s uskladněním hořlavých a nebezpečných látek
- Obydlené oblasti, pád na střechu domu
- Prostory venkovních technologií podniků



Obrázek 19 Vybuchlá baterie DJI Mavic 2 [autor]

7.2 Test baterií dronů DJI

Pro test baterií používaných firmou DJI ve svých dronech byly použity staré, již kapacitou nevyhovující baterie. Test baterií bude proveden pro názornou ukázkou a ucelení poznatků o možném vzniku požáru od baterie dronu. Cílem testu bude mechanické poškození baterie do té míry, kdy dojde k jejímu vznícení, případně zahřívání, zkratu. V rámci tohoto testu bude možné pozorovat případně vznícení baterie. Během testu bude pomocí termokamery sledována teplota a celkový rozvoj požáru baterie.

Mechanické poškození baterie

U testu mechanického poškození baterie dronu bylo účelem takové poškození baterie, při kterém se baterie začne zahřívát, popřípadě hořet. Pro tento test jsem použil baterie z dronu DJI Inspire 2 a Phantom 4.

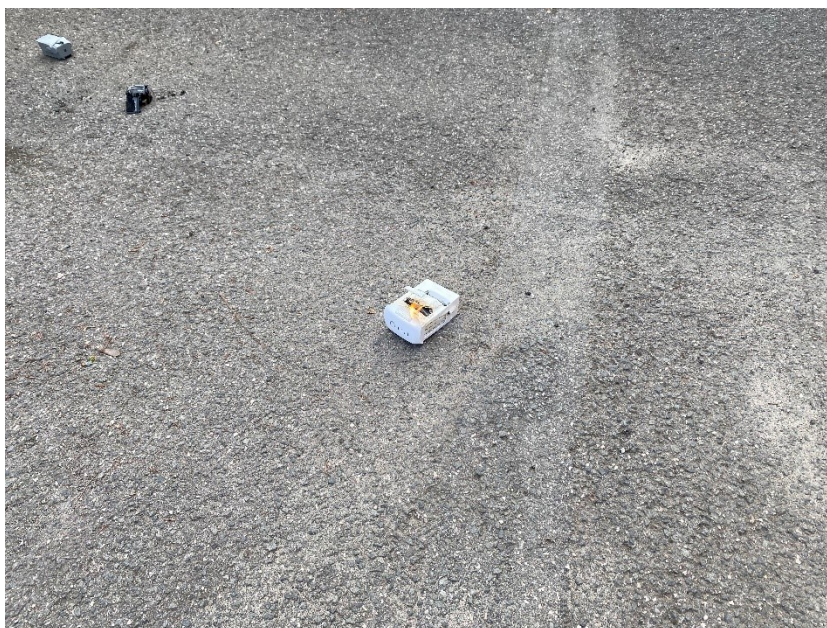
Tabulka 8 Parametry baterií DJI [3], [7]

	Druh	Články	Kapacita	Napětí
Inspire 2	Li-Pol	6S	4500 mAh	22,2 V
Phantom 4	Li-Pol	4S	5870 mAh	15,2V

Obě baterie byly mechanicky poškozeny údery a proražením krytu baterie pomocí kovového páčidla. Po proražení baterie došlo u obou baterií k okamžité reakci a zahřívání baterie.

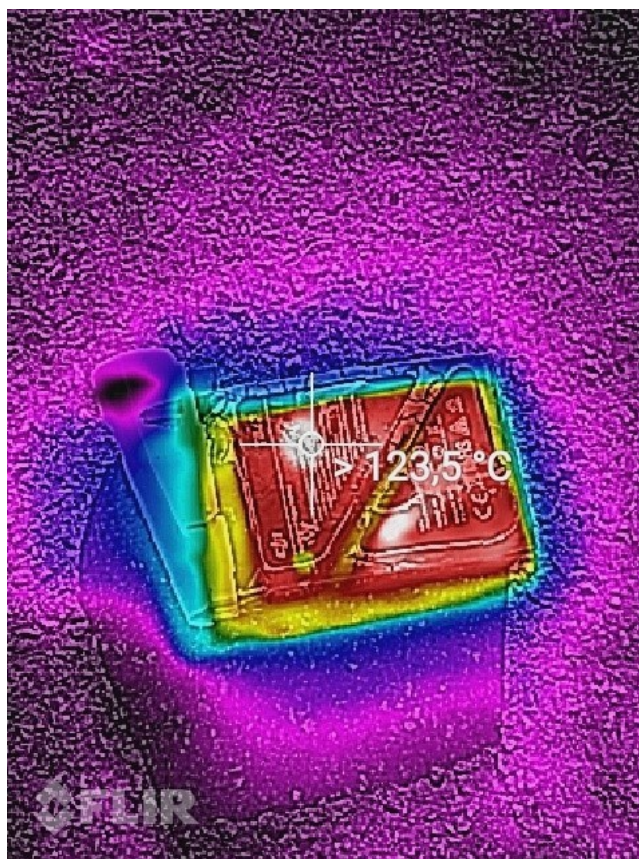


Obrázek 20 Poškozená baterie DJI Inspire 2 [autor]



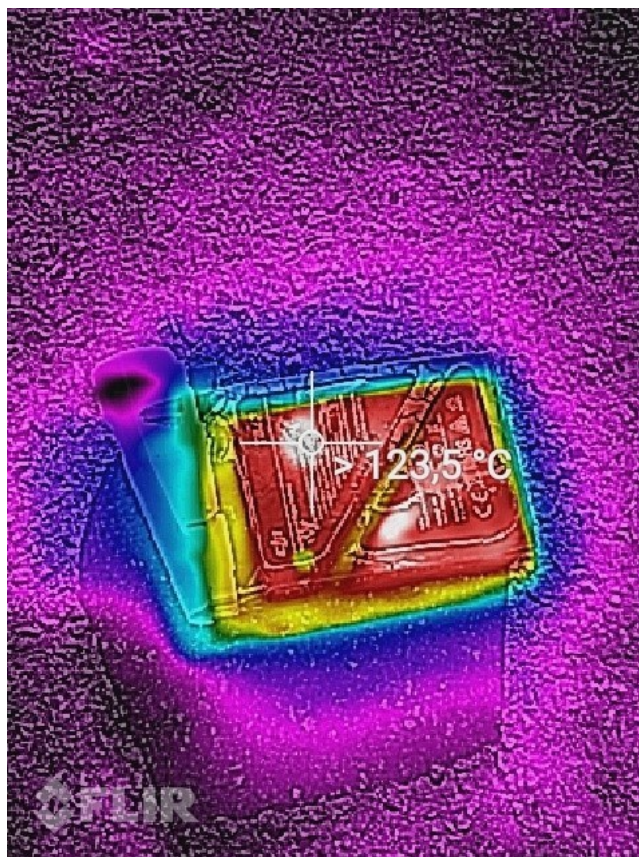
Obrázek 21 Poškozená baterie Phantom 4 PRO [autor]

U baterie dronu DJI Inspire 2 došlo při poškození pouze k vývinu kouře a ke stoupání teploty baterie, která dosahovala až ke 123,5 °C.



Obrázek 22 Snímek z termokamery na baterii Inspire 2 [autor]

V případě baterie dronu DJI Phantom 4 došlo při mechanickém poškození baterie k jejímu okamžitému vzplanutí a nárůstu teploty až na 150,3 °C. Plamenné hoření probíhalo pouze v místě poškození. Baterie byla z bezpečnostních důvodů uhašena dříve, než by došlo k plamennému hoření na celé baterii.



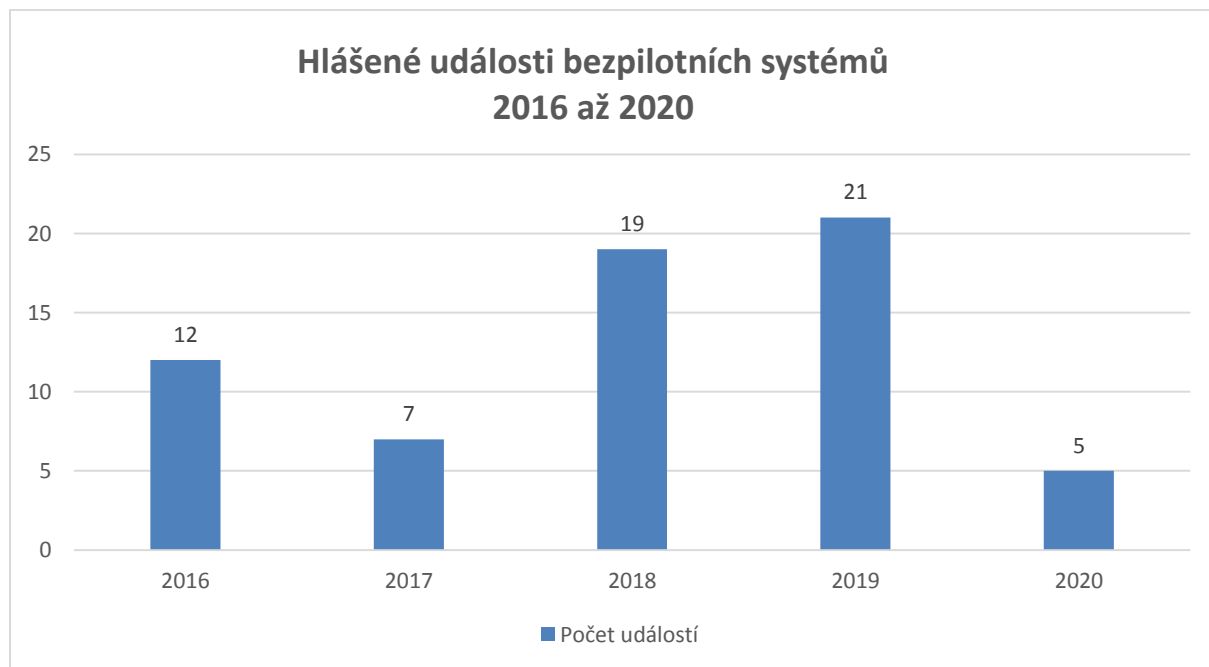
Obrázek 23 Snímek z termokamery na baterii Phantom 4 PRO [autor]

Tento test ověřil, že i sebemenší mechanické poškození těchto baterií vede ke spontánní reakci baterie, k jejímu zahřívání až k požáru. Lze tedy předpokládat že při pádu dronu na tvrdou plochu může dojít k mechanickému poškození baterie, i přes její kryt, a následnému požáru.

8 Statistika havárií

V rámci Ústavu pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod dochází každého čtvrt roku k vypracování rozboru, jehož obsahem je statistika hlášených leteckých událostí na území České republiky. V tomto přehledu jsou mimo jiné také zahrnuty události týkající se bezpilotních systémů. Tyto události jsou složeny jak z havárií dronů, tak událostí, kdy došlo k porušení předpisů a tím narušení bezpečnosti vzdušného prostoru. Do současné chvíle nebyly zaznamenány hlášení o nehodě, kdy dron způsobil nehodu s následkem požáru. Z grafu lze vidět stoupající tendenci nehod bezpilotních prostředků (mimo rok 2020) vzhledem k celosvětové situaci. Lze předpokládat, že nehod dronů je mnohem více, které nebyly nahlášený [18].

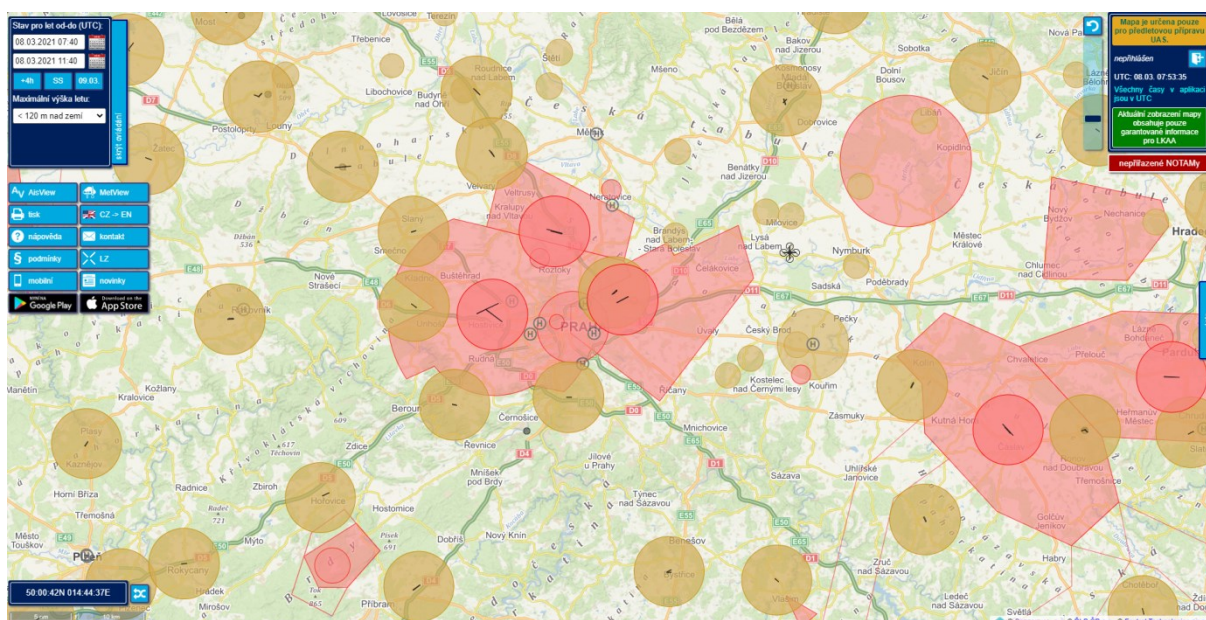
Příklad hlášené nehody z 11. 7. 2019 „V průběhu automatického letu, při snímkování terénu z výšky 30 m AGL, došlo po 15 min. k signalizaci nízkého napětí palubní baterie. Letoun ne zahájil standardní návratový postup (vystoupení do bezpečné výšky a návrat na home-point). Po převedení letounu do manuálního režimu došlo pravděpodobně vlivem vyčerpání energie palubní baterie k pádu z výšky 10 m [32].“



Obrázek 24 Graf událostí bezpilotních systémů 2016-2020 [18]

9 Doporučení prevence havárií a požáru dronů

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, je létání s dronem upravováno nařízeními Evropské unie, ale především v podmínkách České republiky doplňkem X - bezpilotní systémy. V tomto doplňku jsou jasně definovány prostory, ve kterých se smí a nesmí bezpilotní systém - dron pohybovat a v jaké výšce. Je zde, že let bezpilotního systému se vzletovou hmotností do 0,91 kg může být prováděn bez koordinace, lze pouze do výšky 100 m nad zemí. Dalším důležitým pokynem je zákaz provozu bezpilotního systému v zakázaných, nebezpečných a jinak omezených prostorech, s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL. Zakázané či omezené oblasti lze najít na volně přístupné mapě [19].



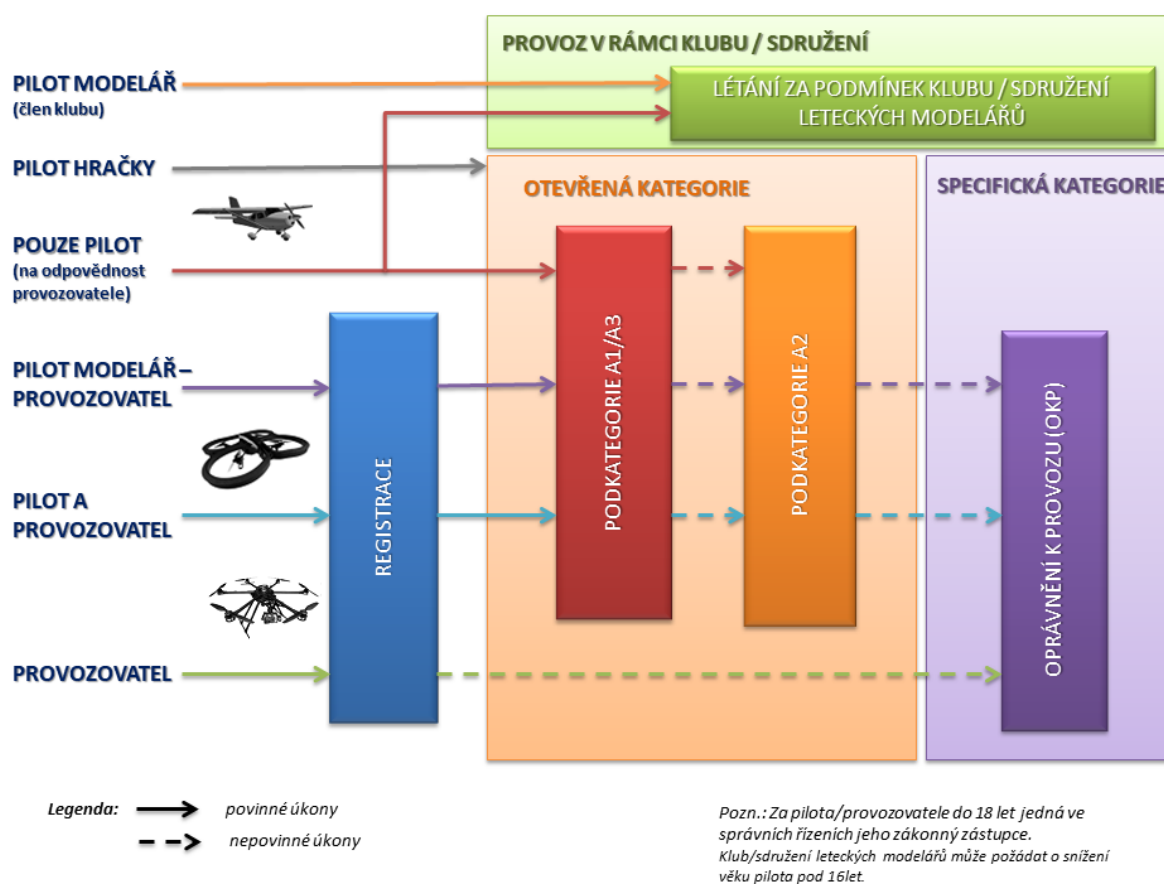
Obrázek 25 Letecká mapa UAS [20]

Další prevencí ke snížení rizik, které mohou drony vyvolat, je nově od 31. 12. 2020 jejich povinná registrace. Tato registrace se týká všech strojů, které mají:

- vzletovou hmotnost větší jak 249 g,
- jsou vybaveny zařízením schopným jakkoli zachycovat osobní údaje (kamera),
- nejedná se o hračku (je označen výrobcem jako hračka)

Jako dobrou prevencí se mi jeví drony, pomocí jejichž aplikací k ovládání je možné je zavést do výše uvedené mapy tak, by piloti měli navzájem přehled o pohybu ostatních strojů ve svém okolí. Pak stanovit tuto povinnost pro všechny majitele registrovaných dronů [13].

Dalším prvkem, který bych navrhoval pro prevenci vzniku požáru, je hlídání teploty uvnitř baterie. Ve svém hledání se mi nepodařilo nalézt, jestli již tato technologie existuje a používá se u některého z výrobců dronů. Principem technologie by bylo upozornění uživatele na rychle narůstající teplotu uvnitř baterie a tím možnému včasnému přistání stroje na bezpečné místo.



Obrázek 26 Schéma povinných úkolů k provozu dronu [13]

10 Doporučení k likvidaci požáru baterie dronu

Na likvidaci požáru baterie dronu lze aplikovat postupy podobné například požáru elektromobilů.

V současné době psaní této práce nejsou k dispozici ještě oficiální metodiky pro jednotky HZS k požárům baterií. Jednotky HZS tedy musejí vycházet ze znalostí zásahu při požáru elektrických zařízení a vedení pod napětím do 400 V dle 25/P bojového řádu jednotek PO a požární taktiky, 2-03 metody zdolávání požárů za přítomnosti práškových a alkalických kovů a metodiky zásahu u vozidel s alternativními pohony [23].

Likvidace požáru baterie dronu bude jednodušší z hlediska malých rozměrů baterií. V případě požáru baterie lze tedy uvést v postu k jejímu hašení.

- **Kontrolované vyhoření baterie**

Jedním ze základních a nejjednodušších postupů je nechání baterii kontrolovaně vyhořet. Tento postup je možný pouze za splnění podmínky, kdy požár baterie a vlastní konstrukce dronu neohrožuje své okolí. Po dohoření baterie doporučuji její uložení alespoň na 24 hodin do kovové nádoby s vodou.

- **Hašení za pomoci suchého hasiva**

Další způsob hašení baterie vzhledem k její reaktivitě s vodou je použití suchých hasiv, jako je např. písek, může být použita hlína a tím zamezení dalšímu rozvoji.

- **Ponoření baterie do vody**

Naposledním způsobem pro likvidaci požáru baterie dronu je její vložení prakticky celého dronu do kovové nádoby s vodou, zde nechat 24 h.

Celkovou likvidaci vyhořelé baterie je potřeba provést odbornou firmou pro likvidaci nebezpečného odpadu.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo určit destrukční potenciál dronu ve vazbě na vznik požáru. Při své rešeršní činnosti jsem narazil na problém nulové informovanosti o problému destrukčního potenciálu dronu ve vazbě na možný vznik požáru.

V rešeršní činnosti jsem se tedy zaměřil na zjištění informací ohledně legislativy bezpilotních systémů, jejich technických parametrů a výrobců. Zaměřil jsem se zde také na baterie bezpilotních systémů. Byly provedeny výpočty vybraných dronů. Tyto výpočty byly zaměřeny především na maximální sílu nárazu tlaku na místo dopadu. Pro ucelení a představu nebezpečnosti baterie dronů byl proveden improvizovaný pokus s cílem iniciace baterie za pomoci mechanického poškození. Byl proveden přehled nehod bezpilotních systémů na území České republiky. V závěru jsem provedl návrh možných způsobů hašení baterií dronů.

Touto prací bylo tedy zjištěno, že v současnosti je minimální, ne-li žádná informovanost o možnostech a nebezpečích dronů ve vazbě na možný vznik požárů. Jak ukázaly výpočty, drony při svých pádech či nárazech vyvolávají poměrně vysoké mechanické síly. Nejnebezpečnější součástí dronu je baterie, u které se pokusem ověřilo, že jsou poměrně snadno iniciovatelné mechanickým poškozením, které hrozí při pádu a nárazu dronu. Doporučením pro prevenci je v současnosti dle mého větší přehled a evidence dronů. V rámci požární ochrany zde lze postupovat v případě požáru obdobně, jako například u požáru elektromobilů. Díky menší velikosti baterie dronu je takovýto zásah jednodušší na síly a prostředky.

Toto téma by mělo být dále probíráno a řešeno. V současné době, kvůli stále dostupnějším a širokou veřejností oblíbeným dronům, bude podle mě počet incidentů narůstat. Nebezpečí možného vzniku požáru způsobené dronem je zcela reálné a opodstatněné. Tato práce by mohla sloužit jako populárně naučný materiál k rozšíření povědomí o této problematice a jejímu do budoucna detailnějšímu řešení.

Literatura

- [1] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Dotisk 1. vydání. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [2] KARAS, Jakub. *222 tipů a triků pro drony*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4874-7.
- [3] Inspire 2. *DJIteLink* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/inspire-2/9917-inspire-2-x7-standard-kit.html>
- [4] Matrice 600. *DJIteLink* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/matrice-600/3893-matrice-600-pro-6958265132148.html>.
- [5] Mavic 2. *DJIteLink* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/mavic-2/5084-dji-mavic-2-pro-6958265174445.html>
- [6] Mini 2. *DJIteLink* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/dji-mini-2/9998-dji-mini-2-6941565905185.html>
- [7] Phantom 4. *DJIteLink* [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/dji-phantom-4-rtk/8025-dji-phantom-4-rtk-6958265168628.html>
- [8] DJI. *DJI* [online]. [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz>
- [9] NOS, Filip. *Nebezpečné baterie? – část I*. 2019. Dostupné také z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/18629-nebezpecne-baterie-cast-i>
- [10] *Lithiové akumulátory Přehled základních typů a jejich vlastností* [online]. Brno: UETE FEKT VUT v Brně, 2019 [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/13612-lithiove-akumulatory>

- [11] *VELKÝ PRŮVODCE: Základy pro stavbu dronu!* [online]. 2017 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: <https://svetdronu.net/velky-pruvodce-zaklady-pro-stavbu-dronu/>
- [12] *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2021 [cit. 2021-01-07]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz-stare/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla/>
- [13] *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2021 [cit. 2021-01-07]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zakladni-informace-k-regulacnimu-ramci-eu-pro-bezpilotni-systemy/>
- [14] *Úřad pro civilní letectví* [online]. 2021 [cit. 2021-01-07]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz-stare/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/podle-ktereho-predpisu-se-ridi-provoz-bezpilotnich-letadel-systemu/>
- [15] *Prováděcí nařízení komise EU: o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel.* In: Brusel: Evropská komise, Generální ředitelství pro mobilitu a dopravu, 2019, L 152/45, číslo 947. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=CS>
- [16] *Prováděcí nařízení komise EU: o bezpilotních systémech a o provozovatelích bezpilotních systémů ze třetích zemí.* In: Brusel: Evropská komise, Generální ředitelství pro mobilitu a dopravu, 2019, L 152/2, číslo 945. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&qid=1617095122085&from=CS>
- [17] *Droneweb: co je dron* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/co-je-dron>
- [18] *Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod: Rozbor bezpečnosti za 4. čtvrtletí 2020 a výsledků v oblasti bezpečnosti v roce 2020* [online]. 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://uzpln.cz/pdf/20210121143705.pdf>.

- [19] *DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY*. In: 2017, ročník 2017, číslo 6. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [20] *Dronview: mapa pro předletovou přípravu UAS* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://dronview.rlp.cz/>
- [21] *Dronpro: Přistávací plocha pro drony* [online]. [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/pristavaci-plocha-pro-drony-75cm-1>
- [22] *Pokyn generálního ředitele Hasičského záchranného sboru České republiky: Bojový řád jednotek požární ochrany*. In: . Praha: Generální ředitelství HZS ČR, 2017, ročník 2017, číslo 41.
- [23] MIŠKANIČ, Michal. *Konspekty odborné přípravy jednotek požární ochrany: Metody zdolávání požáru za přítomnosti práškových a alkalických kovů* [online]. Praha: MV-generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2009 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: http://metodika.cahd.cz/konspekty/2_03.pdf
- [24] *Droncentrum: Test FAIL SAFE a udržení maximální vzdálenosti od home pointu* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/test-fail-safe-na-dronu-dji-phantom/>
- [25] Parrot Drone SAS. *Parrot* [online]. 2020 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.parrot.com/us>
- [26] *Yuneec Holding* [online]. 2021 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://us.yuneec.com/>
- [27] *3Drobotics* [online]. 2020 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://3drobotics.com/>
- [28] *DJI: DJI Terra* [online]. 2021 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: https://www.dji.com/cz/dji-terra?site=brandsite&from=landing_page

- [29] *DJITelink* [online]. 2021 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/cs/padaky/2878-padak-gbs-10-350-s-elektronikou-standard.html>
- [30] *Deník* [online]. 2019 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/pribehy-a-rozhovory/foto-padajici-dron-muze-i-zabit-studenti-z-liberce-pro-nej-vyrobili-padak-20191105.html>
- [31] STRAUS, Jiří. *Tolerance lebky a mozku na vnější mechanické působení* [online]. In: Brno, 2007, 2007, s. 17 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://exfos.cz/wp-content/uploads/2018/12/str05-straus.pdf>
- [32] *Rozbor bezpečnosti letů: Rozbor bezpečnosti za 3. čtvrtletí 2019* [online]. 2019, 107 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://uzpln.cz/pdf/20191025105014.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Kvadrokoptera tvaru X [11]	6
Obrázek 2 Trikoptéra [11]	6
Obrázek 3 Hexakoptéra [11]	7
Obrázek 4 Oktokoptéra [11]	7
Obrázek 5 Princip funkce lithiových akumulátorů [10]	9
Obrázek 6 Struktura lithiového akumulátoru [10]	9
Obrázek 7 Baterie DJI Inspire 2 [autor]	10
Obrázek 8 DJI Matrice 300 RTK [8]	11
Obrázek 9 Parrot Anafi USA [25]	11
Obrázek 10 Yuneec H520E/520 [26]	12
Obrázek 11 3DR H520-G [27]	12
Obrázek 12 DJI Mavic mini 2 [6]	13
Obrázek 13 DJI Mavic 2 [5]	14
Obrázek 14 DJI Phantom 4 PRO [7]	15
Obrázek 15 DJI Inspire 2 [3]	16
Obrázek 16 DJI Matrice 600 PRO [4]	17
Obrázek 17 Přistávací plocha pro dron [21]	18
Obrázek 18 Padák dronu [29]	19
Obrázek 19 Vybuchlá baterie DJI Mavic 2 [autor]	24
Obrázek 20 Poškozená baterie DJI Inspire 2 [autor]	25
Obrázek 21 Poškozená baterie Phantom 4 PRO [autor]	26
Obrázek 22 Snímek z termokamery na baterii Inspire 2 [autor]	26
Obrázek 23 Snímek z termokamery na baterii Phantom 4 PRO [autor]	27
Obrázek 24 Graf událostí bezpilotních systémů 2016-2020 [18]	28
Obrázek 25 Letecká mapa UAS [20]	29
Obrázek 26 Schéma povinných úkolů k provozu dronu [13]	30

Seznam tabulek

Tabulka 1 Třídy bezpilotních systémů [16]	5
Tabulka 2 Parametry DJI Mavic mini 2 [8]	13
Tabulka 3 Parametry DJI Mavic 2 [8]	14
Tabulka 4 Parametry DJI Phantom 4 PRO [8].....	16
Tabulka 5 Rozměry dronů DJI [8]	22
Tabulka 6 Maximální síla dopadu a nárazu dronu [autor]	22
Tabulka 7 Maximální tlak v místě nárazu [autor].....	22
Tabulka 8 Parametry baterií DJI [3], [7].....	25